



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **120844** (13) **C2**

(51) МПК (2020.01)

H02M 3/158 (2006.01)

H02M 3/337 (2006.01)

H02M 3/338 (2006.01)

H03F 3/217 (2006.01)

H02M 1/00

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

<p>(21) Номер заявки: a 2016 08172</p> <p>(22) Дата подання заявки: 26.02.2015</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.02.2020</p> <p>(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 14156928.5</p> <p>(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 27.02.2014</p> <p>(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: EP</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 25.11.2016, Бюл.№ 22</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.02.2020, Бюл.№ 4</p> <p>(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: PCT/EP2015/053977, 26.02.2015</p>	<p>(72) Винахідник(и): Медсен Міккі П (DK), Ковачевич Мілован (DK)</p> <p>(73) Власник(и): ДЕНМАРКС ТЕХНІСКЕ ЮНІВЕРСИТЕТ, Anker Engelunds Vej 101 A, 2800 Kgs. Lyngby, Denmark (DK)</p> <p>(74) Представник: Кістерський Тимофій Арсенійович, реєстр. №457</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: TSO-SHENG CHAN ET AL, "A Primary Side Control Method for Wireless Energy Transmission System", IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS I: REGULAR PAPERS, IEEE, US, (20120801), vol. 59, no. 8, doi:10.1109/TCSI.2011.2180433, ISSN 1549-8328, pages 1805 - 1814, XP011454327 [X] 19 * page 1806 - page 1809; figures 5-8 * WO 2013/150352 A1, 10.10.2013 US 2007171680 A1, 26.07.2007 US 2012250356 A1, 04.10.2012</p>
---	--

UA 120844 C2

(54) РЕЗОНАНСНИЙ DC-DC ПЕРЕТВОРЮВАЧ ПОТУЖНОСТІ З КЕРУВАННЯМ ВКЛЮЧАННЯМ І ВИКЛЮЧАННЯМ

(57) Реферат:

Даний винахід належить до резонансного DC-DC (постійної напруги у постійну напругу) перетворювача потужності, який містить ланцюг вхідної сторони, що містить позитивний та негативний вхідні виводи для прийому вхідної напруги або струму, і ланцюг вихідної сторони, який містить позитивний та негативний вихідні виводи для подачі вихідної напруги перетворювача та з'єднання з навантаженням перетворювача. Резонансний DC-DC перетворювач потужності додатково містить ланцюг випрямлення, з'єднаний між виходом резонансного контуру та ланцюгом вихідної сторони. Резонансний контур виконаний з можливістю почергової зарядки від вхідної напруги або струму та розрядки через ланцюг випрямлення за допомогою першого керованого перемикаючого пристрою відповідно до першого керуючого сигналу перемикача. Другий керований перемикаючий пристрій резонансного DC-DC перетворювача потужності виконаний з можливістю вибору першої імпедансної характеристики резонансного контуру в першому стані перемикача та вибору другої імпедансної характеристики резонансного контуру в другому стані перемикача. Ланцюг керування вихідною напругою або струмом виконаний з можливістю регулювання вихідної

напруги та/або струму перетворювача за допомогою активації та переривання першого керуючого сигналу перемикача відповідно до стану перемикача другого керованого перемикаючого пристрою.

Даний винахід відноситься до резонансного DC-DC перетворювача (перетворювача потужності постійного струму в потужність постійного струму), який містить ланцюг вхідної сторони, що містить позитивний та негативний вхідні виводи для прийому вхідної напруги або струму, і ланцюг вихідної сторони, який містить позитивний та негативний вихідні виводи для подачі вихідних потужності, напруги або струму перетворювача та з'єднання з навантаженням перетворювача. Резонансний DC-DC перетворювач потужності додатково містить ланцюг випрямлення, з'єднаний між виходом резонансного контуру, або резонансної схеми, і ланцюгом вихідної сторони. Резонансний контур виконаний з можливістю почергової зарядки від вхідної напруги або струму та розрядки через ланцюг випрямлення за допомогою першого керованого перемикаючого пристрою відповідно до першого керуючого сигналу перемикача. Другий керований перемикаючий пристрій резонансного DC-DC перетворювача потужності виконаний з можливістю вибору першої імпедансної характеристики резонансного контуру в першому стані перемикача та вибору другої імпедансної характеристики резонансного контуру в другому стані перемикача. Ланцюг керування вихідною напругою або струмом виконаний з можливістю регулювання вихідної напруги та/або струму перетворювача за допомогою активації та переривання першого керуючого сигналу перемикача відповідно до стану перемикача другого керованого перемикаючого пристрою.

РІВЕНЬ ТЕХНІКИ

Щільність потужності та вартість компонентів є ключовими показниками продуктивності як ізольованих, так і неізольованих DC-DC перетворювачів потужності для забезпечення найменшого можливого фізичного розміру та/або найменшої вартості для заданих вимог за вихідною потужністю або специфікацією. Резонансні перетворювачі потужності особливо придатні для високих частот перемикання, таких як частоти вище 1 МГц, де перемикаючі втрати стандартних топологій SMPS (switched-mode power supply, імпульсне джерело живлення) (топології Buck (понижуюча), Boost (підвищувальна) і так далі) неприйнятні з погляду ефективності перетворення. У цілому, через зменшення, яке відбувається в результаті, електричного та фізичного розміру компонентів ланцюгів перетворювача потужності, таких як котушки індуктивності та конденсатори, бажані високі частоти перемикання. Більш малі компоненти забезпечують можливість збільшення щільності потужності DC-DC перетворювача потужності. У резонансному перетворювачі потужності вхідний напівпровідниковий перемикач типу "chopper" (переривник) (часто МОП-транзистор або БТІЗ) стандартного імпульсного джерела живлення замінений на "резонансний" напівпровідниковий перемикач. Резонансний напівпровідниковий перемикач заснований на резонансах резонансного контуру, який зазвичай містить різні ланцюги ємностей та індуктивностей для створення форми імпульсу або струму, або напруги на кінцях напівпровідникового перемикача таким чином, що, коли відбувається перемикання стану, через зазначений напівпровідниковий перемикач немає струму або на його кінцях немає напруги. Отже, розсіювання потужності в значній мірі виключається щонайменше в деяких із внутрішніх ємностей або індуктивностей вхідного напівпровідникового перемикача таким чином, що стає можливим значне збільшення частоти перемикання у НВЧ діапазоні, наприклад, до значень вище 30 МГц. Ця концепція відома в області техніки за назвою операція перемикання при нульовій напрузі та/або нульовому струмі (ZVS, zero voltage switching і/або ZCS, zero current switching). Широко використовувані імпульсні перетворювачі потужності, які працюють під ZVS і/або ZCS, часто описуються як інвертори або перетворювачі потужності класу E, класу F або класу DE.

Однак значною проблемою залишається регулювання або керування вихідною потужністю/напругою/струмом резонансних DC-DC перетворювачів потужності ефективним способом. Якщо резонансний перетворювач потужності керується за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) "резонансного" напівпровідникового перемикача, можливість ZVS втрачається, і ефективність перетворення потужності значно впаде. Зміна частоти перемикання резонансного перетворювача потужності також застосовувалася у перетворювачах попереднього рівня техніки для керування вихідною напругою/струмом цього резонансного перетворювача потужності, але така методика керування страждає від обмеженого діапазону регулювання вихідної напруги та збільшення втрат перетворення потужності. Керування вихідною напругою/струмом резонансного перетворювача потужності за допомогою процедури керування, що є комбінацією частоти, яка змінюється, перемикання та ШІМ, також застосовувалася в існуючих резонансних перетворювачах потужності та в цілому довело, що працює добре. На жаль, ця методика або процедура керування призводить до керуючих схем високої складності.

Інший більш простий, але все ще ефективний спосіб регулювання або керування вихідною потужністю/напругою/струмом резонансних DC-DC перетворювачів потужності складався у

включанні та виключанні всього резонансного перетворювача потужності імпульсним способом. Ця схема керування називається "керуванням у переривчастому режимі" або "керування включанням/виключанням". Керування у переривчастому режимі забезпечує резонансному перетворювачу потужності можливість роботи при фіксованій частоті перемикачання, де ефективність перетворення є високою або оптимальною протягом періодів часу включення або активації. Протягом періодів часу, коли перетворювач потужності виключений або дезактивований, втрати потужності по суті виключені завдяки відсутності перемикаючої активності резонансного транзистора, що пускає в хід резонансний перетворювач потужності. В ідеалі, керування у переривчастому режимі резонансним перетворювачем потужності призводить до регулювання повного навантаження та постійної ефективності від нуля до повного навантаження на перетворювач.

Керування включанням/виключанням перетворювачів потужності рівня техніки було досягнуто за допомогою керування напругою сигналу на керуючому виводі "резонансного" напівпровідникового перемикача, наприклад, виводі затвора МОП-транзистора. Ця схема може працювати задовільним чином у деяких застосуваннях, але для регулювання або коректування вихідної напруги та струму перетворювача потрібен керуючий сигнал зворотного зв'язку від вихідної/вторинної сторони перетворювача на керуючий вивід "резонансного" напівпровідникового перемикача. Це представляє значну проблему в ізольованих резонансних перетворювачах потужності, оскільки керуючий сигнал зворотного зв'язку повинен перетинати бар'єр із гальванічною розв'язкою між схемами первинної сторони та схемами вторинної сторони. Традиційно, для підтримки з гальванічною розв'язкою між схемами вхідної сторони та схемами вихідної сторони резонансного перетворювача потужності керуючий сигнал на резонансний напівпровідниковий перемикач передавали через відносно повільний і дорогий оптоз'єднувач або через громіздкий і повільний трансформатор. Однак, тимчасова затримка через оптоз'єднувач або трансформатор представляє серйозну перешкоду для керування включанням/виключанням резонансних перетворювачів потужності, де для забезпечення адекватного керування вихідною напругою та струмом перетворювача у високому ступені бажана швидка перехідна характеристика. Проблема часової затримки особливо яскраво виражена для високочастотних резонансних перетворювачів потужності, які працюють з частотами перемикачання 20 МГц або вище.

ТСО-ШЕНГ ЧАН та ін.: "Спосіб керування первинної сторони для бездротової системи передачі енергії", періодичне видання IEEE Transactions on Circuits and Systems I: regular papers, IEEE, том 59, №. 8 розкриває бездротову систему передачі енергії (WETS, wireless energy transmission system), яка передає потужність від ланцюга первинної сторони на ланцюг вторинної сторони через бар'єр оболонки. Видання IEEE розкриває резонансний DC-DC перетворювач потужності на основі класу E з індуктивним трансформатором потужності, який з'єднує ланцюг вхідної сторони та ланцюг вихідної сторони через бар'єр оболонки. Ланцюг захисту заряду містить керований перемикач (Ms) вторинної сторони, який селективно з'єднує та від'єднує навантаження батареї (V_b) від виходу перетворювача потужності. Контролер первинної сторони працює за допомогою виявлення змін вхідного струму та фази вхідного реактивного опору для визначення стану перемикача (Ms) вторинної сторони. Запропонований діапазон частот перемикачання DC-DC перетворювача потужності на основі класу E перебуває між 83-175 кГц.

У світлі цих проблем і серйозних завдань, пов'язаних з резонансними перетворювачами потужності попереднього рівня техніки, буде бажаним надання нового керуючого механізму для керування включанням/виключанням резонансного перетворювача потужності, що виключає потребу в передачі керуючого сигналу зворотного зв'язку від ланцюга керування вихідною напругою через бар'єр із гальванічною розв'язкою на керуючий вивід резонансного напівпровідникового перемикача. Виключення керуючого сигналу зворотного зв'язку також буде бажаним у неізольованих перетворювачах потужності через часову затримку та зайнятість області монтажу або несучої області, пов'язаної з пересиланням керуючого сигналу зворотного зв'язку на резонансний транзистор.

З урахуванням наведеного вище залишається серйозне завдання зменшення розміру та вартості компонентів як ізольованих, так і неізольованих резонансних DC-DC перетворювачів потужності. Також залишається завдання забезпечення механізму керування вихідною напругою з швидкою перехідною характеристикою для забезпечення гарного регулювання вихідної напруги перетворювача навіть для високочастотних резонансних перетворювачів потужності. Отже, у високому ступені бажаний новий механізм керування для резонансних перетворювачів потужності, який спрощує керування вихідною напругою перетворювача та

зменшує кількість електронних компонентів, які вимагаються для виконання регулювання вихідної напруги.

РОЗКРИТТЯ СУТНОСТІ ВИНАХОДУ

Перший аспект даного винаходу відноситься до резонансного DC-DC перетворювача потужності, який містить ланцюг вхідної сторони, що містить позитивний та негативний вхідні виводи для прийому вхідної напруги або струму, і ланцюг вихідної сторони, що містить позитивний та негативний вихідні виводи для подачі вихідних потужності, напруги або струмів перетворювача та з'єднання з навантаженням перетворювача. Резонансний DC-DC перетворювач потужності додатково містить ланцюг випрямлення, з'єднаний між виходом резонансного контуру та ланцюгом вихідної сторони. Резонансний контур виконаний з можливістю почергової зарядки від вхідної напруги або струму та розрядки через ланцюг випрямлення за допомогою першого керованого перемикаючого пристрою відповідно до першого керуючого сигналу перемикача, причому частота цього керуючого сигналу перемикача становить 20 МГц або вище, більше переважно 30 МГц або вище. Другий керований перемикаючий пристрій резонансного DC-DC перетворювача потужності виконаний з можливістю вибору першої імпедансної характеристики резонансного контуру в першому стані перемикача та вибору другої імпедансної характеристики резонансного контуру в другому стані перемикача. Ланцюг керування вихідною напругою або струмом виконаний з можливістю регулювання або коректування вихідної напруги та/або струму перетворювача за допомогою активації та переривання першого керуючого сигналу перемикача відповідно до стану перемикача другого керованого перемикаючого пристрою.

Перша та друга імпедансні характеристики резонансного контуру можуть проявляти різні резонансні частоти та/або різні значення добротності при резонансній частоті, як пояснюється більш докладно нижче. Частота перемикачання першого керуючого сигналу перемикача переважно розташована приблизно на резонансній частоті резонансного контуру, коли резонансний DC-DC перетворювач потужності є працюючим або включеним для забезпечення високої ефективності перетворення потужності.

Ланцюг керування вихідною напругою або струмом виконаний з можливістю регулювання вихідних напруги або струму перетворювача за допомогою керування станом, тобто провідним станом або непровідним станом, другого керованого перемикаючого пристрою та, тим самим, виключанням або включенням роботи даного резонансного DC-DC перетворювача потужності. Оскільки другий керований перемикаючий пристрій може бути зручно розміщений в ланцюзі вихідної сторони резонансного DC-DC перетворювача потужності, вихідна напруга перетворювача може бути відрегульована за допомогою контуру керування напругою або струмом, повністю розташованого на вихідній стороні перетворювача. Отже, регулювання вихідної напруги та/або струму ізольованих варіантів резонансного DC-DC перетворювача потужності може бути досягнуте за допомогою керування компонентами, розміщеними тільки в ланцюзі вторинної сторони. Потреба у подачі вихідного керуючого сигналу, такого як вихідний сигнал напруги або вихідний сигнал струму, назад на вхідну або первинну сторону таких ізольованих резонансних DC-DC перетворювачів потужності була виключена. Як згадано вище, це виключення потреби у передачі керуючого сигналу зворотнього зв'язку назад у ланцюг вхідної або первинної сторони, зокрема, на керуючий вивід першого перемикаючого пристрою, є бажаним як у неізолюваних, так і в ізольованих варіантах даних резонансних DC-DC перетворювачів потужності. У зв'язку з ізольованими резонансними DC-DC перетворювачами потужності виключення керуючого сигналу зворотнього зв'язку на перший перемикаючий пристрій ланцюга вхідної сторони усуває потребу в дорогих, громіздких ізолюючих пристроях, таких як оптоз'єднувачі або трансформатори, для передачі керуючого сигналу зворотнього зв'язку через бар'єр із гальванічною розв'язкою.

У зв'язку з неізолюваними резонансними DC-DC перетворювачами потужності здатність виконання регулювання вихідної напруги та/або струму в ланцюзі вихідної сторони виключає часову затримку та зайнятість площі монтажу, пов'язану з пересиланням керуючого сигналу зворотнього зв'язку на перший перемикаючий пристрій ланцюга вхідної сторони. Це поліпшує перехідну характеристику неізолюваного резонансного DC-DC перетворювача потужності таким чином, щоб забезпечувати краще регулювання вихідної напруги та/або струму перетворювача для навантаження. Ця особливість є особливо бажаною для резонансного DC-DC перетворювача потужності, який працює при НВЧ частотах перемикачання 30 МГц або вище, де короткий час затримки при включенні та виключенні перетворювача потужності поліпшує характеристики регулювання.

Другий керований перемикаючий пристрій може бути вставлений в різних місцях розташування схем вихідної сторони резонансного DC-DC перетворювача потужності для

вибору між першою та другою імпедансними характеристиками резонансного контуру. Другий керований перемикаючий пристрій бажано з'єднаний з виходом резонансного контуру. Відповідно до одного варіанта здійснення другий керований перемикаючий пристрій з'єднаний послідовно між виходом ланцюга випрямлення та позитивним або негативним вихідним виводом для з'єднання навантаження перетворювача у провідному стані перемикача та від'єднання навантаження перетворювача в непровідному стані перемикача. Таким способом позитивний або негативний вихідний вивід і навантаження перетворювача можуть бути електрично від'єднані від іншої частини резонансного DC-DC перетворювача потужності в стані вимикання цього перетворювача.

Ланцюг випрямлення бажано виконаний з можливістю прояву резистивного імпедансу при резонансній частоті резонансного контуру з приєднаним навантаженням перетворювача. У цій ситуації перша імпедансна характеристика, яка включає резонансну частоту, резонансного контуру, може бути визначена за допомогою однієї або більшої кількості взаємно з'єднаних котушок індуктивності та конденсаторів резонансного контуру з незначним впливом з боку компонентів ланцюга випрямлення. З іншого боку, коли навантаження перетворювача від'єднане від виходу ланцюга випрямлення за допомогою другого керованого перемикаючого пристрою, ланцюг випрямлення може проявляти різний і нерезистивний вхідний імпеданс, який навантажує резонансний контур. Це нерезистивне навантаження призводить до зміни імпедансних характеристик резонансного контуру таким чином, щоб вибирати другу імпедансну характеристику резонансного контуру. Така друга імпедансна характеристика резонансного контуру може проявляти більш низьку резонансну частоту та значення добротності, ніж значення добротності та резонансна частота першої імпедансної характеристики. Друга імпедансна характеристика резонансного контуру може мати більш низьку або більш високу, тобто різну резонансну частоту, ніж резонансна частота першої імпедансної характеристики резонансного контуру через те, наприклад, що котушка індуктивності та/або конденсатор ланцюга випрямлення має/мають вплив на резонансну частоту резонансного контуру. Ці типи розходжень між першою та другою імпедансними характеристиками резонансного контуру можуть експлуатуватися для включення та відключення коливання контуру зворотнього зв'язку біля першого керованого перемикаючого пристрою, як більш докладно описано нижче. Відповідно до іншого варіанта здійснення винаходу другий керований перемикаючий пристрій з'єднаний через вихід резонансного контуру для вибору першої імпедансної характеристики резонансного контуру в непровідному стані та другої імпедансної характеристики резонансного контуру в провідному стані.

В іншому варіанті здійснення імпедансна характеристика резонансного контуру змінюється від першої імпедансної характеристики до другої імпедансної характеристики резонансного контуру за допомогою приєднання однієї або більшої кількості додаткових ємностей та/або приєднання однієї або більшої кількості додаткових індуктивностей до існуючих ємностей та індуктивностей резонансного контуру, відповідно, за допомогою другого керованого перемикаючого пристрою.

У переважному варіанті здійснення резонансного DC-DC перетворювача потужності ланцюг випрямлення містить другий керований перемикаючий пристрій; і ланцюг керування виконаний з можливістю генерації керуючого сигналу для другого керованого перемикаючого пристрою синхронно з першим керуючим сигналом перемикачання. У цьому варіанті здійснення відповідні функції ланцюга випрямлення та другого керованого перемикаючого пристрою об'єднані. Таким чином, другий керований перемикаючий пристрій на додаток до з'єднання та від'єднання навантаження перетворювача може працювати в якості синхронного двонапівперіодного або однонапівперіодного випрямляча та заміщати функції одного або більшої кількості звичайних випрямних діодів ланцюга випрямлення.

Ланцюг керування вихідною напругою або струмом резонансного DC-DC перетворювача потужності може містити самозбудний контур зворотнього зв'язку, з'єднаний між вихідним виводом і керуючим виводом першого керованого перемикаючого пристрою. У цьому варіанті здійснення перша імпедансна характеристика резонансного контуру має конфігурацію, яка забезпечує можливість включення коливання самозбудного контуру зворотнього зв'язку, а друга імпедансна характеристика резонансного контуру має конфігурацію, яка забезпечує можливість відключення коливання самозбудного контуру зворотнього зв'язку. Отже, перемикачання стану другого керованого перемикаючого пристрою може бути використане для активації та переривання роботи перетворювача потужності за допомогою включення та відключення коливання або перемикачання першого керованого перемикаючого пристрою, відповідно. Зазначений останній пристрій може, наприклад, містити транзистор, такий як МОП-транзистор, де самозбудний контур зворотнього зв'язку з'єднаний між виводами затвора та стоку цього

МОП-транзистора. Фахівцям в даній області техніки буде зрозуміло, що для запобігання передачі сигналів зворотнього зв'язку самозбудного контуру зворотнього зв'язку від ланцюга вихідної сторони самозбудний контур зворотнього зв'язку переважно повністю розташований у ланцюзі вхідної сторони резонансного DC-DC перетворювача потужності.

5 Самозбудний контур зворотнього зв'язку може містити першу внутрішню ємність перемикача, з'єднану між вихідним і керуючим виводами першого керованого перемикаючого пристрою. Самозбудний контур зворотнього зв'язку додатково містить перше джерело напруги зсуву, виконане з можливістю генерації першої регульованої напруги зсуву, і першу котушку індуктивності, переважно по суті з постійною індуктивністю, з'єднану між першим джерелом
10 напруги зсуву та керуючим виводом першого керованого перемикаючого пристрою. Самозбудний контур зворотнього зв'язку на додаток до першої внутрішньої ємності перемикача може містити зовнішній конденсатор, з'єднаний між вихідним і керуючим виводами першого керованого перемикача. Фахівцям в даній області техніки буде зрозуміло, що перша внутрішня ємність перемикача може містити ємність стік-затвор МОП-транзистора, який міститься у
15 першому керованому перемикаючому пристрої. Кілька розробок резонансного DC-DC перетворювача потужності на основі самозбудного контуру зворотнього зв'язку біля перемикаючого пристрою вхідної сторони розкриті в одночасно перебуваючій на розгляді заявці зазначеного заявника РСТ/EP2013/072548. Фахівцям в даній області техніки буде зрозуміло, що в даних резонансних DC-DC перетворювачах потужності можуть бути застосовані ці самозбудні
20 контури зворотнього зв'язку.

Перша та друга імпедансні характеристики резонансного контуру, які включають та відключають коливання першого керованого перемикаючого пристрою, відповідно, можуть розрізнятися різними способами. В одному варіанті здійснення значення добротності першої імпедансної характеристики більше 5 при резонансній частоті першої імпедансної
25 характеристики; а значення добротності другої імпедансної характеристики менше 2 при резонансній частоті другої імпедансної характеристики. В іншому варіанті здійснення резонансна частота першої імпедансної характеристики щонайменше в 1,4 рази більша, ніж резонансна частота другої імпедансної характеристики.

У діапазоні переважних варіантів здійснення резонансного DC-DC перетворювача
30 потужності частота першого керуючого сигналу перемикача розташована на 20 МГц або вище, наприклад, 30 МГц або вище, у так званому НВЧ діапазоні. У цих варіантах здійснення обговорена вище резонансна частота першої імпедансної характеристики резонансного контуру розташована на 20 МГц або вище, або 30 МГц або вище. Резонансна частота першої імпедансної характеристики резонансного контуру переважно розташована приблизно на
35 частоті першого керуючого сигналу перемикача. Резонансні DC-DC перетворювачі потужності переважно сприяють перемиканню при нульовій напрузі та/або нульовому струмі напівпровідникового перемикача або перемикачів, пускаючи в хід або збуджуючи резонансний контур.

Ланцюг керування вихідною напругою або струмом може містити контур регулювання,
40 наприклад, контур регулювання напруги, струму або потужності, з'єднаний між вихідною напругою/струмом перетворювача та керуючим виводом другого керованого перемикаючого пристрою для регулювання вихідної напруги та/або струму перетворювача відповідно до однієї або більшої кількості DC опорних напруг або струмів. Контур регулювання напруги або струму може містити, наприклад, генератор DC опорної напруги, виконаний з можливістю подачі
45 зазначеної однієї або більшої кількості DC опорних напруг,

один або більша кількість компараторів, виконаних з можливістю порівняння вихідної напруги перетворювача щонайменше з першою DC опорною напругою та вибору провідного стану або непровідного стану другого керованого перемикаючого пристрою залежно від результату зазначеного порівняння.

У цьому варіанті здійснення контур регулювання напруги може використовувати одну DC опорну напругу для регулювання вихідної напруги перетворювача. Резонансний DC-DC перетворювач потужності може бути виключений, коли вихідна напруга перетворювача перевищує зазначену одну DC опорну напругу за допомогою вибору належного стану другого керованого перемикаючого пристрою. Аналогічним чином, DC-DC перетворювач потужності
50 може бути включений, коли вихідна напруга перетворювача менша, ніж зазначена одна DC опорна напруга за допомогою вибору протилежного стану другого керованого перемикаючого пристрою.
55

В альтернативному варіанті здійснення резонансного DC-DC перетворювача потужності контур регулювання напруги або струму містить принаймні дві різні DC опорні напруги або
60 струми, які використовують в якості опорних для керування регулюванням виходу. У цьому

варіанті здійснення генератор DC опорної напруги виконаний з можливістю подачі першої DC опорної напруги та другої DC опорної напруги, де перша DC опорна напруга вища, ніж друга DC опорна напруга; зазначений один або більша кількість компараторів виконані з можливістю:

5 порівняння вихідної напруги перетворювача з першою та другою DC опорними напругами; і вибору одного з провідного та непровідного станів другого керованого перемикаючого пристрою у випадку, якщо вихідна напруга перетворювача перевищує першу DC опорну напругу,

вибору протилежного стану другого керованого перемикаючого пристрою у випадку падіння вихідної напруги перетворювача нижче другої DC опорної напруги.

10 Як згадано раніше, резонансний DC-DC перетворювач потужності може містити бар'єр із гальванічною розв'язкою. Бар'єр із гальванічною розв'язкою переважно розташований між ланцюгом вхідної сторони та ланцюгом вихідної сторони для забезпечення гальванічної розв'язки між вихідною напругою перетворювача та ланцюгом вхідної сторони. Цей бар'єр із гальванічною розв'язкою може містити пари магнітно з'єднаних котушок індуктивності, який
15 містить першу котушку індуктивності, електрично з'єднану з ланцюгом вхідної сторони, і другу котушку індуктивності, електрично з'єднану з входом ланцюга випрямлення. Ця пара магнітно з'єднаних котушок індуктивності може містити трансформатор. В іншому варіанті здійснення бар'єр із гальванічною розв'язкою містить перший та другий розділові конденсатори. Перший розділовий конденсатор може бути розташований у несучій лінії сигналу резонансного перетворювача потужності, наприклад, послідовно між виходом резонансного контуру та ланцюгом випрямлення. Другий розділовий конденсатор може бути розташований у
20 негативному проведенні напруги або проведенні заземлення резонансного перетворювача потужності між ланцюгами вхідної та вихідної сторін. Бар'єр із гальванічною розв'язкою на основі розділового конденсатора є особливо корисним у резонансних DC-DC перетворювачах потужності, які працюють при 20 МГц або вище, через відносно малі ємності, які потрібні для першого та другого конденсаторів при таких високих частотах. Ці малі ємності забезпечують кожному з першого та другого конденсатора можливість бути фізично невеликими, а також реалізації у вигляді неелектролітичних конденсаторів із поверхневим монтажем, наприклад, керамічних конденсаторів з ємністю нижче 100 нФ.

30 Фахівцям в даній області техніки буде зрозуміло, що у даному винаході можуть бути використані всі топології резонансних DC-DC перетворювачів потужності, наприклад, SEPIC (single-ended primary inductor converter, несиметричний перетворювач постійної напруги на котушках індуктивності), клас E, клас F, клас DE або топології перетворювача, отримані з них. Декілька зразкових топологій класу E ізольованих і неізольованих резонансних DC-DC перетворювачів потужності докладно описані нижче в сполученні з супутніми кресленнями.

35 Перший керований перемикаючий пристрій може містити один або більшу кількість напівпровідникових перемикачів, і другий керований перемикаючий пристрій може містити один або більшу кількість напівпровідникових перемикачів. Кожний з напівпровідникових перемикачів першого та другого керованих перемикаючих пристроїв може містити напівпровідниковий транзистор, такий як МОП-транзистор або БТІЗ, такий як МОП-транзистор на основі нітриду галію (GaN) або карбіду кремнію (SiC). Керуючий вивід або виводи першого керованого перемикаючого пристрою можуть відповідно містити вивід (виводи) затвора або вивід (виводи) бази зазначеного одного або більшої кількості напівпровідникових перемикачів. Керуючий вивід кожного із зазначених напівпровідникових перемикачів може приводитись в дію за допомогою
45 першого керуючого сигналу перемикача для змінного впливу на напівпровідникові перемикачі між включеними положеннями або виключеними положеннями. Керуючий вивід або виводи другого керованого перемикаючого пристрою можуть містити вивід (виводи) затвора або вивід (виводи) бази зазначеного одного або більшої кількості напівпровідникових перемикачів.

50 Один варіант здійснення резонансного DC-DC перетворювача потужності містить бездротовий приймач даних для прийому віддалених команд даних для керування станом перемикача для другого керованого перемикаючого пристрою. Віддалена команда даних може бути використана для переривання або активації роботи резонансного DC-DC перетворювача потужності за допомогою команд, прийнятих через бездротову мережу побутової автоматизації. Віддалена команда даних може бути введена в ланцюг керування вихідною напругою або струмом, що керує перемиканням стану другого керованого перемикаючого пристрою. Таким
55 чином, резонансний DC-DC перетворювач потужності може бути включений або виключений або відрегульований за допомогою вилученого керування. Бездротовий приймач даних може бути сумісним із різними бездротовими протоколами передачі даних промислових стандартів, таких як протоколи зв'язку ZigBee, або провідними протоколами передачі даних, такими як

протокол DALI (Digital Addressable Lighting Interface, цифровий інтерфейс висвітлення з можливістю адресації).

Фахівцям в даній області техніки буде зрозуміло, що перший керований перемикаючий пристрій може бути сформований за допомогою одного транзистора, наприклад, МОП-приладу п типу, або декількох взаємозалежних транзисторів залежно від вибраної топології резонансного DC-DC перетворювача потужності. У деяких варіантах здійснення перший керований перемикаючий пристрій може містити топологію напівмостового перемикача або топологію повномостового перемикача.

Бар'єр із гальванічною розв'язкою може містити трансформатор, який містить пари магнітно з'єднаних котушок індуктивності, що містить першу котушку індуктивності, електрично з'єднану з ланцюгом первинної сторони, і другу котушку індуктивності, електрично з'єднану з ланцюгом вихідної сторони. Перша та друга котушки індуктивності можуть бути окремими обмотками, намотаними навколо звичайної магнітопроникної структури для формування розв'язуючого трансформатора. В альтернативному варіанті здійснення перша та друга котушки індуктивності об'єднані в друковану плату без проміжного магнітного матеріалу. На цій друкованій платі може бути змонтований весь DC-DC перетворювач потужності.

Один варіант здійснення резонансного DC-DC перетворювача потужності розташований на одній по суті плоскій несучій підкладці для формування компактного вузла перетворювача потужності одноблокового виконання та низької вартості, що добре підходить для інтеграції в різні типи побутових апаратів, такі як світлодіодні лампи та зарядні пристрої для батарей. Цей варіант здійснення резонансного DC-DC перетворювача потужності містить одну по суті плоску несучу підкладку, що має першу поверхню та другу протилежну поверхню, причому ланцюг вхідної сторони, ланцюг вихідної сторони, ланцюг випрямлення, резонансний контур, перший керований перемикаючий пристрій, другий керований перемикаючий пристрій і ланцюг керування вихідною напругою або струмом розташовані на першій поверхні та/або другій поверхні. Зазначена одна плоска несуча підкладка може містити односторонню або двосторонню друковану плату, яка може містити додаткові шари між верхнім шаром, що містить першу поверхню, і нижнім шаром, що містить другу поверхню. Фахівцям в даній області техніки буде зрозуміло, що відповідні активні та пасивні електронні компоненти ланцюга вхідної сторони, ланцюга вихідної сторони, ланцюга випрямлення, резонансного контуру, першого керованого перемикаючого пристрою, другого керованого перемикаючого пристрою та ланцюга керування вихідною напругою або струмом можуть бути прикріплені до верхньої та/або нижньої несучої поверхні за допомогою паяння або склеювання.

Другий аспект даного винаходу відноситься до способу експлуатації резонансного DC-DC перетворювача потужності для генерації вихідної напруги або струму перетворювача, причому зазначений спосіб включає наступні етапи:

- a) почергова зарядка та розрядка резонансного контуру резонансного перетворювача від джерела вхідної напруги або струму за допомогою першого керованого перемикаючого пристрою відповідно до першого керуючого сигналу перемикача,
- b) випрямлення резонансного струму резонансного контуру,
- c) розрядка випрямленого резонансного струму в ланцюг випрямлення для виробництва випрямленої вихідної напруги,
- d) перемикання між першою імпедансною характеристикою або другою імпедансною характеристикою резонансного контуру за допомогою вибору першого або другого стану перемикача другого керованого перемикаючого пристрою,
- e) регулювання вихідної напруги або струму перетворювача за допомогою почергової активації та переривання першого керуючого сигналу перемикача відповідно до першого або другого стану перемикача другого керованого перемикаючого пристрою.

КОРОТКИЙ ОПИС КРЕСЛЕНЬ

Переважні варіанти здійснення даного винаходу будуть більш докладно описані в сполученні з супутніми кресленнями, на яких:

на фіг. 1 показана схематична структурна схема верхнього рівня резонансного DC-DC перетворювача потужності відповідно до переважних варіантів здійснення даного винаходу,

на фіг. 1А) схематична структурна схема вузла перетворювача потужності, яка містить резонансний DC-DC перетворювач потужності відповідно до переважних варіантів здійснення даного винаходу,

на фіг. 2 показана спрощена схема електричного ланцюга ізольованого типу класу E DC-DC перетворювача потужності відповідно до першого варіанта здійснення даного винаходу,

на фіг. 3 показана спрощена схема електричного ланцюга ізольованого типу класу E DC-DC перетворювача потужності згідно з другим варіантом здійснення даного винаходу,

на фіг. 4 показана спрощена схема електричного ланцюга самозбудного ізолюваного DC-DC перетворювача потужності класу E згідно з третім варіантом здійснення даного винаходу, і на фіг. 5 показана спрощена схема електричного ланцюга неізолюваного DC-DC перетворювача потужності класу E згідно з четвертим варіантом здійснення даного винаходу.

5 ДОКЛАДНИЙ ОПИС ПЕРЕВАЖНИХ ВАРІАНТІВ ЗДІЙСНЕННЯ ВИНАХОДУ

На фіг. 1 показана спрощена схематична структурна схема резонансного DC-DC перетворювача 100 потужності відповідно до переважних варіантів здійснення даного винаходу. Докладні схематичні принципи схеми зразкових варіантів здійснення даних резонансних DC-DC перетворювачів потужності описані нижче за посиланням на фіг. 2, 3, 4 і 5. Резонансний DC-DC перетворювач 100 потужності містить вхідний блок 120 і вихідний блок 150, з'єднані через необов'язковий бар'єр 140 із гальванічною розв'язкою. Бар'єр 140 із гальванічною розв'язкою може містити різні типи електроізоляційних елементів або компонентів, таких як пари розділових конденсаторів або пари магнітно з'єднаних котушок індуктивності, таких як трансформатор. Вхідний блок 120 містить ланцюг вхідної сторони, який містить позитивний вхідний вивід 101 і негативний вхідний вивід 102 для прийому DC або AC вхідної напруги V_{in} від джерела потужності або напруги. Ланцюг вхідної сторони може містити вхідний конденсатор (не показаний), електрично з'єднаний між позитивними та негативним вхідними виводами 101, 102 для формування енергетичного резервуара для джерела вхідної напруги та придушення AC компонентів пульсуючої напруги та/або шумових компонентів DC або AC вхідної напруги V_{in} . Вихідний блок 150 містить ланцюг вихідної сторони, який містить позитивний та негативний вихідні виводи 110, 111, відповідно, для прийому DC вихідної напруги V_{out} перетворювача та з'єднання з навантаженням перетворювача. Навантаження перетворювача схематично представлено за допомогою навантажувального опору RL. Вихідний блок 150 додатково містить ланцюг випрямлення, схематично представлений символом діоду та з'єднаний між виходом резонансного контуру (не показаний) резонансного DC-DC перетворювача 100 потужності та ланцюгом вихідної сторони. Вхідний блок 120 містить перший керований перемикаючий пристрій, який містить щонайменше один керований напівпровідниковий перемикач, що працює відповідно до керуючого сигналу перемикача. Керований напівпровідниковий перемикач або перемикачі можуть містити транзистор, такий як біполярний площинний транзистор, МОП-транзистор або БТІЗ, де вивід (виводи) бази або затвора з'єднані з керуючим сигналом перемикача. Керований перемикаючий пристрій з'єднаний з резонансним контуром таким чином, що він по черзі заряджається від DC або AC вхідної напруги та розряджається через ланцюг випрямлення для виробництва DC вихідної напруги V_{out} . Частота керуючого сигналу перемикача першого керованого перемикаючого пристрою відповідно встановлює частоту перемикання резонансного DC-DC перетворювача 100 потужності. Резонансний контур може бути винятково розташований у вхідному блоці 120 у деяких варіантах здійснення даного винаходу, тоді як в інших варіантах здійснення резонансний контур може містити деякі пасивні компоненти бар'єра 140 з гальванічною розв'язкою та/або ланцюга випрямлення. Резонансний контур переважно містить щонайменше один конденсатор і щонайменше одну котушку індуктивності, з'єднані один з одним. Резонансний DC-DC перетворювач 100 потужності додатково містить ланцюг 160 керування вихідною напругою або струмом, що виконаний з можливістю регулювання DC вихідної напруги V_{out} за допомогою активації та переривання обговореного раніше керуючого сигналу перемикача першого керованого перемикаючого пристрою відповідно до стану перемикача другого керованого перемикаючого пристрою (не показаний). Стан перемикача другого керованого перемикаючого пристрою керується за допомогою керуючої лінії або дроту 112, що може бути з'єднаний з підходящим керуючим виводом другого керованого перемикаючого пристрою, як обговорюється більш докладно нижче. Коли керуючий сигнал перемикача першого керованого перемикаючого пристрою переривається або зупиняється, тобто не перемикає, резонансний контур більше не заряджається або не збуджується, а DC вихідна напруга V_{out} поступово знижується через струм, що витягається навантаженням перетворювача. Коли керуючий сигнал перемикача першого керованого перемикаючого пристрою активується, резонансний контур знову заряджається або збуджується за допомогою першого керованого перемикаючого пристрою та подає резонансний струм на ланцюг випрямлення та ланцюг вихідної сторони таким чином, що DC вихідна напруга V_{out} поступово зростає.

Різні типи керуючих механізмів використовують у різних варіантах здійснення даного резонансного DC-DC перетворювача потужності для керування активацією та перериванням керуючого сигналу перемикача першого керованого перемикаючого сигналу. В одному варіанті здійснення другий керований перемикаючий пристрій виконаний з можливістю з'єднання та від'єднання навантаження RL перетворювача таким чином, що імпедансні характеристики

резонансного контуру змінюються. В іншому варіанті здійснення імпедансна характеристика резонансного контуру змінюється за допомогою перемикачання другого керованого перемикаючого пристрою між провідним станом і непровідним станом, наприклад, додаючи одну або більшу кількість додаткових ємностей або індуктивностей у резонансний контур. Ця зміна імпедансних характеристик резонансного контуру в деяких варіантах здійснення може бути виявлена за допомогою резонансного фазового детектора 130. Резонансний фазовий детектор 130 може бути виконаний з можливістю відстеження через лінію 131 відстеження сигналу резонансної напруги або резонансного струму резонансного контуру. Резонансний фазовий детектор 130 може бути виконаний з можливістю виміру зміни фази або амплітуди між резонансним струмом і резонансною напругою при номінальній резонансній частоті зазначеного контуру, викликаного зміною імпедансних характеристик резонансного контуру, викликаних перемикачанням стану другого керованого перемикаючого пристрою.

Резонансний фазовий детектор 130 може генерувати керуючий сигнал перемикачання для першого перемикаючого пристрою та подавати цей керуючий сигнал 133 на керуючий вивід або виводи резонансного контуру, такий як вивід бази або затвора, як обговорювалося вище. В одному переважному варіанті здійснення даного резонансного DC-DC перетворювача 100 потужності резонансний фазовий детектор 130 інтегрований у самозбудний контур зворотнього зв'язку, сформований біля першого керованого перемикаючого пристрою. Таким чином, коливання самозбудного контуру зворотнього зв'язку або включено, або відключено відповідно до стану перемикача другого керованого перемикаючого пристрою, як більш докладно обговорено нижче з посиланням на фіг. 4 і 5.

На фіг. 1A) схематично показано, як резонансні DC-DC перетворювачі 100 потужності відповідно до переважних варіантів здійснення даного винаходу можуть бути розташовані на одній по суті плоскій несучій підкладці 180, такий як друкована плата. Резонансний DC-DC перетворювач потужності, змонтований на такій одній несучій підкладці 180, формує компактний вузол перетворювача потужності одноблокового виконання та низької вартості, що добре підходить для інтеграції в різні типи побутових апаратів, такі як світлодіодні лампи та зарядні пристрої для батарей. Крім того, монтаж вхідного блоку 120, бар'єра 140 з гальванічною розв'язкою та вихідним блоком 150 на загальній несучій підкладці забезпечує можливість високої ефективності перетворення потужності завдяки тому, що ланцюги вхідної та вихідної сторін резонансного DC-DC перетворювача потужності поміщені поблизу один одного. Одна по суті плоска несуча підкладка 180 може містити верхню або першу поверхню 182 та другу протилежну поверхню (не показана). Фахівцям в даній області техніки буде зрозуміло, що активні та пасивні електронні компоненти розглянутого варіанта здійснення резонансного DC-DC перетворювача потужності можуть бути прикріплені до верхньої та/або нижньої несучої поверхні, наприклад, за допомогою паюння або склеювання. Ці пасивні й активні електронні компоненти можуть містити відповідні напівпровідникові перемикачі, конденсатори, котушки індуктивності, виводи, компаратори й т.п. варіантів 200, 300, 400 і 500 здійснення резонансного DC-DC перетворювача потужності, обговорюваних докладно нижче й ілюстрованих на фіг. 2, 3, 4 і 5. Аналогічно, відповідні траєкторії електричних дротів можуть бути сформовані на верхній/нижній несучих поверхнях однієї плоскої несучої підкладки 180 для зв'язку блоків 120, 130, 140, 150, 160 ланцюга необхідним способом. Верхня або нижня поверхня 182 по суті плоскої несучої підкладки 180 також містить позитивний вхідний вивід 101 і негативний вхідний вивід 102 для прийому DC або AC вхідної напруги V_{in} від джерела потужності або напруги зазначеного перетворювача. Верхня або нижня поверхня 182 по суті плоскої несучої підкладки 180 містить позитивний та негативний вихідні виводи 110, 111, відповідно, для подачі DC вихідної напруги V_{out} разом із супутніми вихідними потужністю та струмом, генеруючими за допомогою перетворювача на передбачуване навантаження, наприклад, світлодіодні пристрої або лампи.

Резонансні DC-DC перетворювачі 100 потужності відповідно до переважних варіантів здійснення даного винаходу можуть містити необов'язково бездротовий або провідний приймач 190 даних для прийому віддалених команд даних для ланцюга 160 керування вихідною напругою або струмом. Віддалена команда даних може бути використана для переривання, активації або регулювання роботи резонансного DC-DC перетворювача потужності через ланцюг 160 керування вихідною напругою або струмом. Віддалена команда даних може бути піддана операції логічного АБО за допомогою керуючого сигналу перемикача, іншим способом забезпеченого ланцюгом 160 керування вихідною напругою або струмом через сигнальний дріт або лінію 112. Таким чином, резонансний DC-DC перетворювач потужності може бути включений або виключений або відрегульований за допомогою вилученого керування та може бути інтегрований з бездротовою або дротовою мережею побутової автоматизації.

Необов'язковий приймач 190 даних може бути сумісним з різними бездротовими протоколами передачі даних промислових стандартів, таких як протоколи зв'язку ZigBee, або дротовими протоколами передачі даних, такими як протокол DALI (Digital Addressable Lighting Interface, цифровий інтерфейс освітлення з можливістю адресації).

5 На фіг. 2 показана схема електричного ланцюга ізольованого DC-DC перетворювача 200 потужності класу E. Перетворювач 200 потужності містить вхідний блок 220 і вихідний блок 250, з'єднані через використовуваний при необхідності бар'єр 240 із гальванічною розв'язкою, сформований за допомогою послідовних або розділових конденсаторів 32 і 33. Ланцюг 220 вхідної сторони містить позитивний вхідний вивід 202 і негативний вхідний вивід 201 для прийому DC або AC вхідної напруги V_{in} від джерела потужності або напруги. Вхідний конденсатор (не показаний) може бути додатково з'єднаний між позитивними та негативним вхідними виводами 201, 202 для формування енергетичного резервуара для джерела вхідної напруги та придушення AC компонентів пульсуючої напруги та/або шумових компонентів DC або AC вхідної напруги V_{in} . Ланцюг 220 вхідної сторони додатково містить резонансний контур, як обговорено нижче, що по черзі заряджається від DC або AC вхідної напруги V_{in} і розряджається через ланцюг 250 випрямлення класу E за допомогою першого керованого перемикаючого пристрою S1. У даному варіанті здійснення перемикаючий пристрій містить один керований напівпровідниковий транзистор або перемикач S1. Фахівцям в даній області техніки буде зрозуміло, що в інших варіантах здійснення даного винаходу перший керований перемикаючий пристрій S1 може містити множину керованих напівпровідникових транзисторів або перемикачів. Перший керований перемикаючий пристрій S1 може містити, наприклад, напівмостовий пристрій з парою розташованих один над одним напівпровідникових транзисторів або перемикачів у відповідному варіанті здійснення класу DE резонансного DC-DC перетворювача потужності. Один керований напівпровідниковий перемикач S1 може містити транзистор, такий як МОП-транзистор або БТІЗ, наприклад, МОП-транзистор на основі нітриду галію (GaN) або карбїду кремнію (SiC).

Резонансний контур містить щонайменше першу котушку L1 індуктивності, перший конденсатор C1, що може бути паразитною ємністю частини S1, і другу котушку L2 індуктивності та розділові конденсатори C2 і C3 бар'єру 240 з гальванічною розв'язкою. Ємність розділового конденсатора C3 може бути набагато більша, ніж ємність C2, наприклад, більша, ніж в 10 разів більша, таким чином, що в установці резонансної частоти резонансного контуру впливом ємності C3 можна зневажати. Зарядка та розрядка або порушення резонансного контуру слідує за прикладенням першого керуючого сигналу перемикача до керуючого виводу або виводу 204 затвора напівпровідникового перемикача S1 таким чином, що перемикач S1 змінюється між провідним/включеним станом і непровідним/виключеним станом при частоті першого керуючого сигналу перемикача, коли резонансний перетворювач 200 потужності активний або включений. Перетворювач 200 потужності переважно сконструйований або виконаний таким чином, що частота першого керуючого сигналу перемикача розташована у безпосередній близькості до резонансної частоти резонансного контуру, коли вибраний включений або провідний стан другого керованого перемикаючого пристрою S2, як докладно пояснюється нижче. Отже, частота перемикачання резонансного перетворювача 200 потужності відповідає частоті першого керуючого сигналу перемикача, коли цей перетворювач включений або активний. Перемикачання стану напівпровідникового перемикача S1 генерує резонансний струм у резонансному контурі, що протікає від виходу цього резонансного контуру через ланцюг випрямлення класу E вихідного блоку 250 для виробництва випрямленої DC вихідної напруги V_{out} на кінцях ємності випрямлення. Ланцюг випрямлення класу E містить котушку L3 індуктивності, випрямний діод D1 і конденсатор C4. Фахівцям в даній області техніки буде зрозуміло, що котушка L3 індуктивності та конденсатор C4 можуть впливати на установку резонансної частоти резонансного контуру залежно від розмірів перетворювача. Однак, вплив випрямляючих компонентів, L3 і C4 може бути мінімальним у тих варіантах здійснення перетворювача потужності, де ланцюг випрямлення виконаний з можливістю проявлення по суті резистивного вхідного імпедансу при резонансній частоті резонансного контуру, коли перемикач S2 перебуває у своєму провідному або включеному стані. Конденсатори C5 і C6 забезпечують стабільну вихідну напругу або струм перетворювача.

55 Крім того, вихідний блок містить позитивний та негативний вихідні виводи 210, 211, відповідно, які подають DC вихідну напругу V_{out} перетворювача на навантаження RL перетворювача 200 потужності класу E. Навантаження перетворювача на кресленні схематично ілюстроване за допомогою навантажувального опору RL, але на практиці містить різні типи електричних навантажень, наприклад, комплект світлодіодів або перезаряджача батарея і т.п. Другий керований напівпровідниковий перемикач S2 поміщений між позитивним вихідним

вузлом 209 ланцюга випрямлення та навантаженням RL перетворювача. Отже, S2 поміщений послідовно з навантаженням перетворювача таким чином, що вона від'єднана від перетворювача 200 класу E, коли перемикач S2 переключений у свій виключений або непровідний стан. У такому виключеному стані S2 конденсатор 36 електрично ізольований від ланцюга випрямлення перетворювача, але може миттєво подавати потужність на навантаження перетворювача, тоді як DC вихідна напруга перетворювача потужності відхиляється через струм, який витягається навантаженням RL перетворювача. У протилежній ситуації, коли S2 поміщений у свій включений або провідний стан, позитивний вихідний вузол 209 ланцюга випрямлення з'єднаний з навантаженням RL перетворювача, а випрямляючі конденсатори C5 і C6 поміщені паралельно таким чином, щоб формувати об'єднаний вихідний конденсатор перетворювача 200 потужності. Фахівцям в даній області техніки буде зрозуміло, що другий керований напівпровідниковий перемикач S2 переважно розроблений або вибраний таким чином, що його опір у включеному стані помітно менше, ніж еквівалентний опір навантаження, наприклад, щонайменше в 10 разів менше, для мінімізації втрат потужності у включеному стані в S2 і падіння напруги на S2.

Другий керований напівпровідниковий перемикач S2 переважно містить щонайменше один МОП-транзистор, такий як МОП-транзистор n типу. Другий керований напівпровідниковий перемикач S2, зрозуміло, може бути сформований за допомогою множини паралельно з'єднаних окремих напівпровідникових перемикачів, таких як множина паралельно з'єднаних МОП-транзисторів.

Фахівцям в даній області техніки буде зрозуміло, що компонування другого керованого напівпровідникового перемикача S2 працює для з'єднання навантаження RL перетворювача з виходом випрямляча у провідному стані перемикача S2 та від'єднання навантаження RL перетворювача від вихідного вузла 209 випрямляча в непровідному стані перемикача S2. Це по суті змінює навантаження на виході резонансного контуру, представлене ланцюгом випрямлення через те, що еквівалентний вхідний імпеданс ланцюга випрямлення помітно зростає, коли навантаження RL перетворювача від'єднане за допомогою перемикача S2. Ця зміна навантаження на виході резонансного контуру, викликана перемиканням стану перемикача S2, змінює імпедансні частотні характеристики резонансного контуру таким чином, що він проявляє іншу та різну імпедансну частотну характеристику в непровідному стані перемикача S2 (коли навантаження перетворювача від'єднане). Ця зміна імпедансних характеристик за частотою резонансного контуру може, наприклад, містити зміну значення добротності та/або зміну резонансної частоти. Імпедансні частотні характеристики резонансного контуру можуть бути представлені його імпедансними характеристиками, як видно на виході перемикаючого транзистора S1, тобто виводі затвора S1 у даному варіанті здійснення. Добротність імпедансних характеристик резонансного контуру може змінюватися, наприклад, від значення між 5 і 20 у провідному стані перемикача S2 вниз до значення між 0,5 і 2 у непровідному стані перемикача S2. Резонансна частота резонансного контуру може знижуватися, наприклад, з коефіцієнтом десь між 1,4 і 3, таким як близько 1,41 від провідного стану до непровідного стану перемикача S2, наприклад, від приблизно 30 МГц до приблизно 21 МГц. Перетворювач 200 потужності класу E додатково містить ланцюг 260 керування вихідною напругою, яка виконана з можливістю регулювання DC вихідної напруги V_{out} за допомогою включення/активації або відключення/переривання першого керуючого сигналу перемикача на вивід 204 затвора першого перемикача S1 відповідно до вибору першої імпедансної характеристики або другої імпедансної характеристики резонансного контуру. Ланцюг керування вихідною напругою містить компаратор 208 і генератор DC опорної напруги (не показаний), який подає DC опорну напругу V_{ref} на перший вхід компаратора 208. Вихід компаратора з'єднаний з виводом 212 затвора перемикача S2 таким чином, що вихід компаратора вибирає один із провідного стану та непровідного стану перемикача S2 залежно від логічного рівня виходу компаратора. Механізм керування ланцюгом керування вихідною напругою, який включає або відключає керуючий сигнал затвора на перемикачі S1, може реагувати на вибрані імпедансні характеристики резонансного контуру, який керується станом перемикача S2, за допомогою різних механізмів виявлення та керування. В одному варіанті здійснення резонансний фазовий детектор 230 виконаний з можливістю відстеження через лінію 231 відстеження сигналу резонансної напруги або резонансного струму резонансного контуру, як описано у сполученні з резонансним фазовим детектором 130. У випадку реагування резонансний фазовий детектор 230 виконує подачу керуючого сигналу 233 на вивід 204 затвора першого перемикача S1 для вибіркової активації або переривання перемикачів стану S1.

Інший варіант здійснення механізму керування ланцюга керування вихідною напругою містить самозбудний контур зворотнього зв'язку, з'єднаний між виводом стоку, тобто вихідним виводом, і виводом 204 затвора перемикача S1. Перша імпедансна характеристика резонансного контуру має конфігурацію, яка забезпечує можливість включення коливання самозбудного контуру зворотнього зв'язку за допомогою розробки підходящого коефіцієнта зворотнього зв'язку. Отже, сигнал затвора перемикача S1 буде активним або включеним і перемикаючим при частоті коливання, заданою амплітудною та фазовою характеристикою коефіцієнта зворотнього зв'язку самозбудного контуру зворотнього зв'язку. Ця частота коливання є частотою перемикачання перетворювача 200 класу E під час активної або включеної роботи та зазвичай буде розташована близько до максимуму імпедансу резонансного контуру, де коефіцієнт зворотнього зв'язку має найбільшу амплітуду. Навпроти, друга імпедансна характеристика резонансного контуру має конфігурацію, що забезпечує можливість відключення або переривання коливання самозбудного контуру зворотнього зв'язку за допомогою зміни коефіцієнта зворотнього зв'язку самозбудного контуру зворотнього зв'язку підходящим способом. Коли коливання самозбудного контуру зворотнього зв'язку переривається, керуючий сигнал затвора на затворі 204 перемикача S1 відключається або переривається, наприклад, зрізується до постійного рівня напруги нижче граничної напруги S1, якщо він є МОП-транзистором. Як пояснено вище, ланцюг керування вихідною напругою активує або перериває/деактивує перетворювач 200 класу E за допомогою керування станом другого перемикача S2, стан перемикача якого у свою чергу включає або відключає власні коливання контуру зворотнього зв'язку біля перемикача S1. Останній визначає частоту перемикачання перетворювача 200 потужності класу E. Отже, включений або провідний стан перемикача S2, коли приєднане навантаження перетворювача, включає нормальну або включену роботу перетворювача 200 потужності класу E. Крім того, перетворювач 200 потужності класу E переключений у виключений або неробочий стан за допомогою вибору виключеного стану другого перемикача S2, коли від'єднане навантаження перетворювача, за допомогою сигналу затвора на вивід 212 затвора S2. Таким чином, ланцюг керування вихідною напругою забезпечує керування включанням/виключанням перетворювача 200 потужності класу E для регулювання DC вихідної напруги через перемикачання стану перемикача S2 високоефективним і зручним способом. Зокрема, керування включанням/виключанням виконують за допомогою зміни стану перемикача S2, поміщеного на вторинній або вихідній стороні перетворювача 200 потужності класу E, від керуючого сигналу, отриманого з ланцюга вторинної сторони. Отже, регулювання DC вихідної напруги досягається без передачі якогось-небудь керуючого сигналу через бар'єр із гальванічною розв'язкою, сформованих за допомогою послідовних конденсаторів 32 і 33 у даному варіанті здійснення, на перемикач S1 у ланцюзі вхідної сторони, як більш докладно пояснено нижче з посиленням на варіанті здійснення DC-DC перетворювача потужності на основі власного коливання, показаних на фіг. 4 і 5.

Частота керуючого сигналу перемикача на затворі 204 перемикача S1 переважно становить 20 МГц або вище, або навіть вище 30 МГц для забезпечення так званого DC-DC перетворювача 200 потужності НВЧ типу. Керуючий сигнал перемикача може містити ШІМ модульований керуючий сигнал. Ланцюг випрямлення може містити випрямляч на діодній основі або синхронний випрямляч перед випрямляючим конденсатором для виробництва вихідної напруги перетворювача V_{out} , як DC вихідної напруги. Перетворювач 200 потужності класу E може містити конденсатор 31, з'єднаний через виводи стоку або джерела перемикача S1 або розташованого паралельно їм для збільшення резонансного струму та/або регулювання/точного настроювання резонансної частоти перетворювача 200 класу E. Аналогічно, ще один додатковий конденсатор 34 може бути розташований паралельно випрямному діоду D1 для регулювання робочого циклу резонансного перетворювача 200 потужності.

На фіг. 3 показана спрощена схема електричного ланцюга ізольованого типу класу E DC-DC перетворювача 300 потужності відповідно до другого варіанта здійснення даного винаходу. Основне розходження між даним перетворювачем 300 класу E та попереднім варіантом 200 здійснення класу E лежить в інтеграції функцій окремого випрямного діода D1 та другого керуваного напівпровідникового перемикача S2 перетворювача 200 класу E в одному компоненті S2 даного перетворювача 300 потужності класу E. Фахівцям в даній області техніки буде зрозуміло, що обговорені вище ознаки, функції та компоненти першого варіанта здійснення перетворювача 200 класу E також можна застосовувати до даного варіанта здійснення перетворювача 300 потужності класу E. Аналогічно відповідні ознаки і компоненти першого та другого варіантів здійснення перетворювачів 200, 300 потужності класу E були оснащені відповідними посилальними позначеннями для легкого зіставлення.

Фахівцям в даній області техніки буде зрозуміло, що розташування та керування другого керованого напівпровідникового перемикача S2 у перетворювачі 300 потужності класу E служить двом різним функціям. Перша функція аналогічна функціональності перемикача S2 перетворювача 200 класу E, обговореного вище, тобто для з'єднання навантаження RL перетворювача з виходом випрямляча у провідному стані перемикача S2 та від'єднання навантаження RL перетворювача від виходу випрямляча в непровідному стані перемикача S2. Навантаження на вихід резонансного контуру, прикладене до ланцюга випрямлення, змінюється між провідним і непровідним станами перемикача S2, як обговорено вище, через те, що еквівалентний вхідний імпеданс ланцюга випрямлення помітно зростає, коли навантаження RL перетворювача від'єднане за допомогою перемикача S2. Ця зміна навантаження на виході резонансного контуру, викликана перемиканням стану перемикача S2, змінює імпедансні характеристики резонансного контуру таким чином, що він проявляє другу та різну імпедансну характеристику в непровідному стані перемикача S2 (коли навантаження перетворювача від'єднане). Це перемикання стану керується за допомогою контуру керування напругою, що містить компаратор 308, і ланцюгом 305 включення або приведення затвора. Вихід ланцюга 305 приведення затвора з'єднаний з виводом 312 затвора перемикача S2 та виконаний з можливістю визначення стану перемикача S2, тобто провідного або непровідного. Ланцюг керування (не показаний) з'єднаний з ланцюгом 305 включення затвора таким чином, що коли перемикач S2 перебуває у провідному стані під час нормальної або включеної роботи перетворювача 300 потужності класу E, керуючий сигнал затвора на затворі 312 синхронно перемикається на керуючий сигнал затвора перемикача S1 на вхідному блоці 320. Таким чином, перемикач S2 працює в якості синхронного однонапівперіодного випрямляча та заміщає роботу випрямного діода D1 перетворювача 200 потужності класу E. Випрямляюча дія перемикача S2 генерує DC вихідну напругу V_{out} перетворювача через випрямляючий конденсатор 35, з'єднаний через негативний та позитивний вихідні виводи 310, 311 перетворювача 300 потужності класу E. Перетворювач 300 потужності класу E може містити конденсатор 31, як показано, з'єднаний через виводи стоку або джерела перемикача S1 або розташованого паралельно їм для збільшення резонансного струму та/або регулювання/точного настроювання резонансної частоти перетворювача 300 класу E. Аналогічно, ще один додатковий конденсатор 34 може бути розташований паралельно інтегрованим випрямному перемикачу та перемикачу S2 навантаження перетворювача для регулювання робочого циклу резонансного перетворювача 300 потужності. Також для приведення в дію керованого перемикача S2 для синхронного випрямлення може бути використаний самозбудний привод затвора, таким чином, може бути відвернений зв'язок через бар'єр розв'язки.

На фіг. 4 показана спрощена схема електричного ланцюга самозбудного ізолюваного DC-DC перетворювача 400 потужності класу E відповідно до третього варіанта здійснення даного винаходу. Основне розходження між даним перетворювачем 400 класу E та попереднім перетворювачем 200 класу E, обговореному в сполученні з фіг. 2, лежить у розташуванні самозбудного контуру зворотнього зв'язку, з'єданого між вихідним виводом або виводом стоку першого керованого напівпровідникового перемикача S1 та керуючим виводом 404 перемикача S1. Самозбудний контур зворотнього зв'язку містить конденсатор 37 зворотнього зв'язку, з'єднаний між виводами стоку та затвором перемикача S1, і послідовну котушку L4 індуктивності, розміщену між виводом 404 затвора та джерелом V_{bias} напруги зсуву. Власне коливання керованого напівпровідникового перемикача або транзистора S1 досягається за допомогою належного фазового зрушення, індукованого за допомогою комбінації конденсатора 37 зворотнього зв'язку та котушки L4 індуктивності затвора в комбінації з належним посиленням за напругою, забезпеченою першою імпедансною характеристикою резонансного контуру. Отже, коли другий керований напівпровідниковий перемикач S2 поміщений у провідний стан, тобто з навантаженням RL перетворювача, приєданого до виходу перетворювача, власне коливання перемикача або транзистора S1 включено. Коли транзистор S1 є самозбудним, перетворювач 400 потужності включений або виконаний з можливістю подачі DC вихідної напруги та струму на навантаження RL перетворювача. У протилежному стані, тобто виключеному стані, перемикача S2 резонансний контур, який містить щонайменше L1, L2, C1 і C2, проявляє імпедансну характеристику, відмінну від першої імпедансної характеристики, через від'єднання навантаження RL перетворювача від виходу ланцюга випрямлення. Друга імпедансна характеристика резонансного контуру має конфігурацію, яка забезпечує можливість відключення коливання самозбудного контуру зворотнього зв'язку біля транзисторного перемикача S1. Це може бути досягнуто за допомогою розробки другої імпедансної характеристики резонансного контуру із зниженим значенням добротності та/або зміненою резонансною частотою у порівнянні з першою імпедансною характеристикою. Значення

добротності при резонансній частоті першої імпедансної характеристики, наприклад, може бути більше 5 або 10, тоді як значення добротності при резонансній частоті другої імпедансної характеристики може бути менше 2 або 1. Крім того, резонансна частота першої імпедансної характеристики може бути розташована на необхідній/цільовій частоті перемикання DC-DC перетворювача 400 потужності, наприклад, 20 МГц або вище або 30 МГц або вище, тоді як резонансна частота другої імпедансної характеристики, наприклад, може бути щонайменше в 1,4 рази нижче, ніж резонансна частота першої імпедансної характеристики. Фахівцям в даній області техніки буде зрозуміло, що функціональність раніше обговорених резонансних фазових детекторів 130, 230, 330 інтегрована в самозбудний контур зворотнього зв'язку, сформований біля транзистора S1. Таким чином, коливання самозбудного контуру зворотнього зв'язку або включено, або відключено відповідно до стану перемикача другого керованого перемикача S2.

Фахівцям в даній області техніки буде зрозуміло, що кожний із зображених конденсаторів C7, C8 і C1 на практиці може представляти внутрішні ємності пристрою тільки транзисторного перемикача S1, наприклад, ємності стік-затвор, затвор-джерело та стік-джерело варіанта здійснення перемикача S1 з МОП-транзистором. В альтернативному варіанті одна або більша кількість внутрішніх ємностей пристрою можуть бути доповнені з'єднаним паралельно зовнішнім конденсатором для забезпечення необхідної ємності. Фахівцям в даній області техніки буде зрозуміло, що обговорені вище ознаки, функції та компоненти контуру керування вихідною напругою, ланцюга випрямлення та бар'єра гальванічної розв'язки першого варіанта здійснення перетворювача 200 класу E також можна застосовувати до відповідних компонентів і ланцюгів даного варіанта здійснення перетворювача 400 потужності. Отже відповідні компоненти першого та третього варіантів здійснення перетворювачів 200, 400 потужності класу E були оснащені відповідними посилальними позначеннями для легкого зіставлення.

На фіг. 5 показана спрощена схема електричного ланцюга неізольованого резонансного DC-DC перетворювача 500 потужності класу E згідно з четвертим варіантом здійснення даного винаходу. Основне розходження між даним перетворювачем 500 класу E та попереднім перетворювачем 200 класу E, обговореному в сполученні з фіг. 2, лежить у відсутності бар'єра з гальванічною розв'язкою між вхідним блоком 520 і вихідним блоком 550 і різному з'єднанні другого керованого напівпровідникового перемикача S2. Вихідна напруга V_{out} перетворювача регулюється за допомогою почергової активації та переривання першого керуючого сигналу перемикача на вивід 512 затвора напівпровідникового перемикача S2 для включення та відключення резонансного перетворювача 500 потужності, як обговорено у зв'язку з описом попередніх варіантів здійснення резонансного перетворювача потужності. Регулювання DC вихідної напруги V_{out} перетворювача 500 потужності виконується за допомогою ланцюга 560 керування вихідною напругою, який містить ланцюг 515 узгодження, з'єднаний з вихідною напругою V_{out} перетворювача та компаратором 508. Опорний вхід компаратора 508 з'єднаний з DC опорною напругою V_{ref} , а інший вхід компаратора приймає DC вихідну напругу після узгодження. Як пояснено вище, вихідний сигнал компаратора забезпечує керуючий сигнал на вивід затвора другого керованого перемикача S2 для почергового його перемикання між його провідним і непровідним станами залежно від рівня DC вихідної напруги відносно DC опорної напруги V_{ref} . Даний DC-DC перетворювач 500 потужності містить самозбудний контур зворотнього зв'язку, схематично показаний блоком 530 ланцюга, для вимикання та включення перетворювача 500 потужності залежно від вибраного стану перемикача S2. Самозбудний контур зворотнього зв'язку може бути з'єднаний між вихідним виводом або виводом стоку першого керованого напівпровідникового перемикача S1 та керуючим виводом 504 перемикача S1, як обговорено вище у зв'язку з третім варіантом здійснення.

Хоча напівпровідниковий перемикач S2 кожного з раніше обговорених варіантів 200, 300, 400 здійснення перетворювача потужності послідовно з'єднаний між виходом резонансного контуру та навантаженням перетворювача, відповідний перемикач S2 даного перетворювача 500 потужності з'єднаний через вихід резонансного контуру та негативний шинопровід 511 живлення або заземлення перетворювача 500 потужності. Резонансний контур перетворювача 500 потужності містить щонайменше L1, L2 і C1. Отже, перемикач S2 функціонує як розімкнутий ланцюг, коли він поміщений у непровідний стан або виключений стан за допомогою належного вихідного сигналу компаратора на вивід 512 затвора S2. Отже, перемикач S2 представляє по суті відсутність навантаження на виході резонансного контуру у своєму непровідному стані таким чином, щоб вибирати першу імпедансну характеристику резонансного контуру. У провідному стані перемикач S2 є по суті ланцюгом короткого замикання на виході резонансного контуру на заземлюючу або негативну лінію живлячої напруги через низькоімпедансний тракт, оскільки опір у включеному стані перемикача S2 може бути істотно менше, ніж імпеданс резонансного контуру. Отже, резонансний контур проявляє другу та переважно помітно різну

імпедансну характеристику у провідному стані S2. Аналогічним чином, як обговорювалося у зв'язку з самозбудним контуром третього варіанта 400 здійснення, друга імпедансна характеристика резонансного контуру має конфігурацію, яка забезпечує можливість відключення коливання самозбудного контуру зворотнього зв'язку біля транзисторного перемикача S1. Це може бути досягнуто за допомогою виконання резонансного контуру з другою імпедансною характеристикою, яка проявляє знижене значення добротності та/або змінену резонансну частоту в порівнянні з аналогічними ознаками першої імпедансної характеристики. Значення добротності при резонансній частоті першої імпедансної характеристики, наприклад, може бути більше 5 або 10, тоді як значення добротності при резонансній частоті другої імпедансної характеристики може бути менше 2 або 1. Крім того, резонансна частота першої імпедансної характеристики може бути 20 МГц або вище, така як 30 МГц або вище, тоді як резонансна частота другої імпедансної характеристики може бути нижче, наприклад, щонайменше в 1,4 рази нижче.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Резонансний DC-DC перетворювач (100) потужності, який містить:

- одну по суті плоску несучу підкладку (180), що має першу поверхню та другу протилежну поверхню,

- ланцюг (120) вхідної сторони, що містить позитивний та негативний вхідні виводи (101, 102) для прийому вхідної напруги або струму,

- ланцюг (150) вихідної сторони, що містить позитивний та негативний вихідні виводи (110, 111) для подання вихідних потужностей, напруги або струму перетворювача та з'єднання з навантаженням перетворювача,

- ланцюг випрямлення, з'єднаний між виходом резонансного контуру та ланцюгом (150) вихідної сторони,

причому резонансний контур виконаний з можливістю почергової зарядки від вхідної напруги або струму та розрядки через ланцюг випрямлення за допомогою першого керованого перемикаючого пристрою (S1) відповідно до першого керуючого сигналу (233) перемикача, при цьому частота цього керуючого сигналу (233) перемикача становить 20 МГц або вище, більше переважно 30 МГц або вище,

- другий керований перемикаючий пристрій (S2), виконаний з можливістю вибору першої імпедансної характеристики резонансного контуру в першому стані перемикача та вибору другої імпедансної характеристики резонансного контуру в другому стані перемикача,

- ланцюг (160) керування вихідною напругою або струмом, виконаний з можливістю регулювання вихідних напруги та/або струму перетворювача за допомогою активації та переривання першого керуючого сигналу (233) перемикача відповідно до стану перемикача другого керованого перемикаючого пристрою (S2),

- причому ланцюг (120) вхідної сторони, ланцюг (150) вихідної сторони, ланцюг випрямлення, резонансний контур, перший керований перемикаючий пристрій (S1), другий керований перемикаючий пристрій (S2) та ланцюг (160) керування вихідною напругою або струмом прикріплені на першій поверхні та/або другій поверхні зазначеної однієї по суті плоскої несучої підкладки (180).

2. Резонансний DC-DC перетворювач потужності за п. 1, який **відрізняється** тим, що другий керований перемикаючий пристрій (S2) з'єднаний послідовно між виходом ланцюга випрямлення та позитивним або негативним вихідним виводом (110, 111) для з'єднання навантаження перетворювача у провідному стані перемикача та від'єднання навантаження перетворювача у непровідному стані перемикача.

3. Резонансний DC-DC перетворювач потужності за п. 1, який **відрізняється** тим, що другий керований перемикаючий пристрій (S2) приєднаний на кінцях виходу резонансного контуру для вибору першої імпедансної характеристики резонансного контуру в непровідному стані та другої імпедансної характеристики резонансного контуру в провідному стані.

4. Резонансний DC-DC перетворювач потужності за п. 2 або 3, який **відрізняється** тим, що ланцюг випрямлення містить другий керований перемикаючий пристрій (S2), і ланцюг керування виконаний з можливістю вироблення керуючого сигналу (212) для другого керованого перемикаючого пристрою (S2) синхронно з першим керуючим сигналом (233) перемикача.

5. Резонансний DC-DC перетворювач потужності за будь-яким із пп. 1-4, який **відрізняється** тим, що ланцюг (160) керування вихідною напругою або струмом містить:

самозбудний контур зворотного зв'язку, з'єднаний між вихідним виводом і керуючим виводом (204) першого керованого перемикаючого пристрою (S1), причому перша імпедансна характеристика резонансного контуру має конфігурацію, яка забезпечує можливість включення коливання самозбудного контуру зворотного зв'язку, і

5 друга імпедансна характеристика резонансного контуру має конфігурацію, яка забезпечує можливість відключення коливання самозбудного контуру зворотного зв'язку.

6. Резонансний DC-DC перетворювач потужності за будь-яким із попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що значення добротності першої імпедансної характеристики більше 5 при резонансній частоті першої імпедансної характеристики, і

10 значення добротності другої імпедансної характеристики менше 2 при резонансній частоті другої імпедансної характеристики.

7. Резонансний DC-DC перетворювач потужності за будь-яким із попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що резонансна частота першої імпедансної характеристики щонайменше в 1,4 рази більша, ніж резонансна частота другої імпедансної характеристики.

15 8. Резонансний DC-DC перетворювач потужності за будь-яким із попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що ланцюг керування вихідною напругою або струмом містить:

контур регулювання напруги або струму, з'єднаний між виводом вихідної напруги перетворювача та керуючим виводом другого керованого перемикаючого пристрою (S2) для регулювання вихідної напруги перетворювача відповідно до однієї або більшої кількості DC опорних напруг або струмів.

20 9. Резонансний DC-DC перетворювач потужності за п. 8, який **відрізняється** тим, що контур регулювання напруги або струму містить:

генератор DC опорної напруги, виконаний з можливістю подання зазначених однієї або більшої кількості DC опорних напруг або струмів,

25 один або більшу кількість компараторів (208), виконаних з можливістю порівняння вихідної напруги перетворювача щонайменше з першим DC опорної напруги та вибору провідного стану або непровідного стану другого керованого перемикаючого пристрою (S2) залежно від результату порівняння.

10. Резонансний DC-DC перетворювач потужності за п. 9, який **відрізняється** тим, що генератор DC опорної напруги виконаний з можливістю подання першої DC опорної напруги та другої DC опорної напруги, де перша DC опорна напруга вища, ніж друга DC опорна напруга, причому зазначені один або більшу кількість компараторів (208) виконані з можливістю:

порівняння вихідної напруги перетворювача з першою та другою DC опорними напругами, і вибору одного з провідного та непровідного станів другого керованого перемикаючого пристрою (S2) у випадку, якщо вихідна напруга перетворювача перевищує першу DC опорну напругу, вибору протилежного стану другого керованого перемикаючого пристрою (S2) у випадку падіння вихідної напруги перетворювача нижче другої DC опорної напруги.

35 11. Резонансний DC-DC перетворювач потужності за п. 5, який **відрізняється** тим, що самозбудний контур зворотного зв'язку містить:

першу внутрішню сміність перемикача, з'єднану між вихідним і керуючим виводами першого керованого перемикаючого пристрою (S1),

перше джерело напруги зсуву, виконане з можливістю вироблення першої регульованої напруги зсуву,

45 першу котушку (L4) індуктивності, переважно по суті з постійною індуктивністю, з'єднану між першим джерелом напруги зсуву та керуючим виводом (204) першого керованого перемикаючого пристрою (S1).

12. Резонансний DC-DC перетворювач потужності за будь-яким із попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що містить бар'єр (140) із гальванічною розв'язкою, розташований між ланцюгом вхідної сторони та ланцюгом вихідної сторони.

50 13. Резонансний DC-DC перетворювач потужності за п. 12, який **відрізняється** тим, що бар'єр із гальванічною розв'язкою містить перший та другий сполучні конденсатори.

14. Резонансний DC-DC перетворювач потужності за будь-яким із попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що містить топологію перетворювача, вибрану з групи, яка містить клас E, клас F, клас DE.

55 15. Резонансний DC-DC перетворювач потужності за будь-яким із попередніх пунктів, який **відрізняється** тим, що перший керований перемикаючий пристрій містить один або більшу кількість напівпровідникових перемикачів і другий керований перемикаючий пристрій містить один або більшу кількість напівпровідникових перемикачів,

причому кожний з напівпровідникових перемикачів містить напівпровідниковий транзистор, такий як МОП-транзистор або БТІЗ, такий як МОП-транзистор на основі нітриду галію (GaN) або карбіду кремнію (SiC).

16. Резонансний DC-DC перетворювач потужності за будь-яким із попередніх пунктів, який відрізняється тим, що додатково містить:

бездротовий або дротовий приймач (190) даних для прийому віддалених команд даних для керування станом перемикача другого керованого перемикаючого пристрою (S2).

17. Резонансний DC-DC перетворювач потужності за будь-яким із попередніх пунктів, який відрізняється тим, що зазначена одна по суті плоска несуча підкладка (180) містить односторонню або двосторонню друковану плату.

18. Спосіб експлуатації резонансного DC-DC перетворювача (100) потужності для генерування вихідної напруги або струму перетворювача, який включає наступні етапи:

а) почергова зарядка та розрядка резонансного контуру зазначеного резонансного перетворювача від джерела вхідної напруги за допомогою першого керованого перемикаючого пристрою (S1) відповідно до першого керуючого сигналу (233) перемикача, що має частоту 20 МГц або вище, більше переважно 30 МГц або вище,

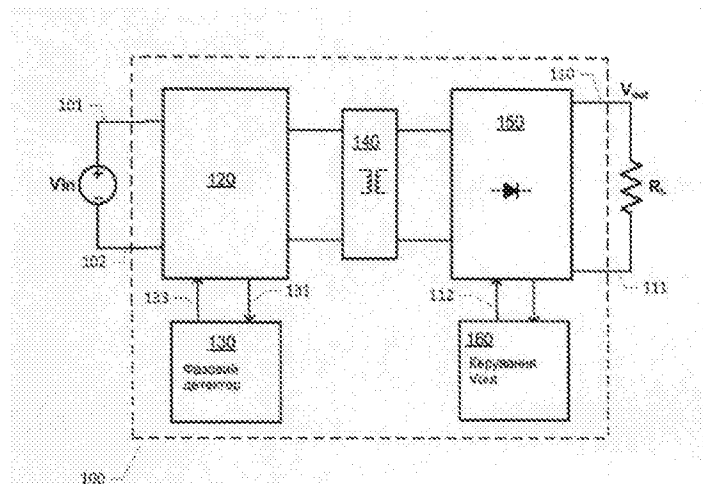
б) випрямлення резонансного струму резонансного контуру,

с) розрядка випрямленого резонансного струму в ланцюг випрямлення для виробництва випрямленої вихідної напруги,

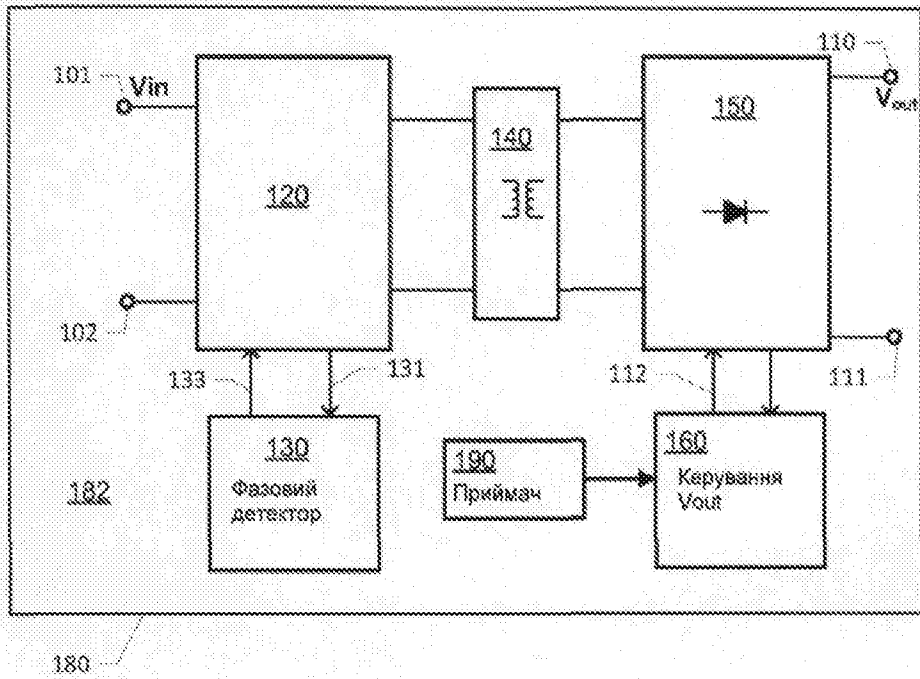
д) перемикання між першою імпедансною характеристикою або другою імпедансною характеристикою резонансного контуру за допомогою вибору першого або другого стану перемикача другого керованого перемикаючого пристрою (S2),

е) регулювання вихідної напруги або струму перетворювача за допомогою почергової активації та переривання першого керуючого сигналу (233) перемикача відповідно до першого або другого стану перемикача другого керованого перемикаючого пристрою (S2),

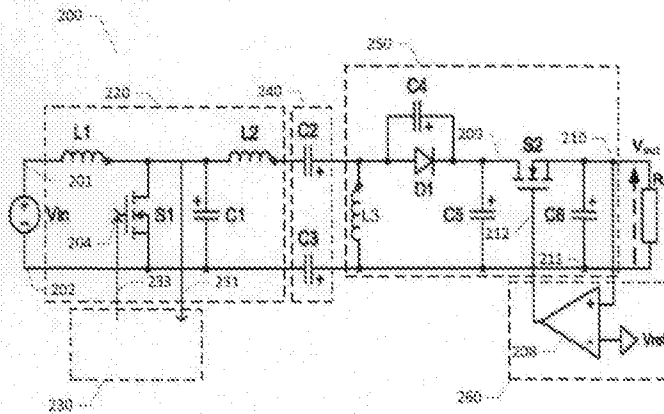
причому ланцюг (120) вхідної сторони, ланцюг (150) вихідної сторони, ланцюг випрямлення, резонансний контур, перший керований перемикаючий пристрій (S1), другий керований перемикаючий пристрій (S2) та ланцюг (160) керування вихідною напругою або струмом прикріплені на першій поверхні та/або другій поверхні зазначеної однієї по суті плоскої несучої підкладки (180).



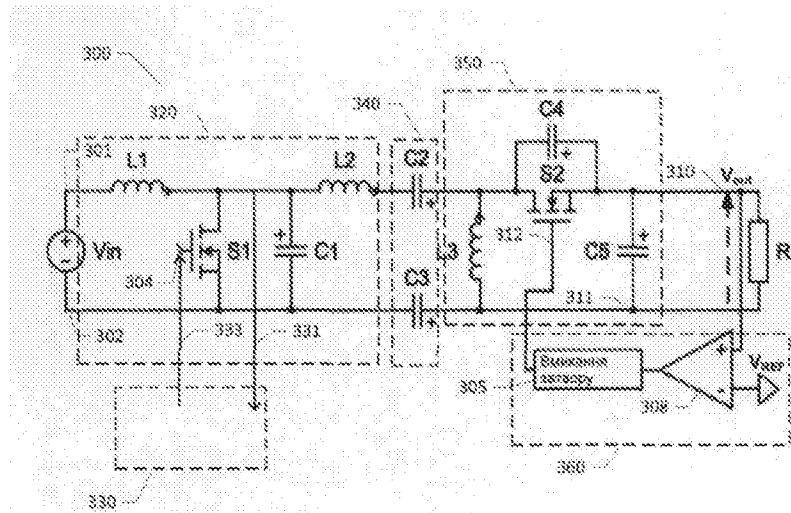
ФІГ. 1



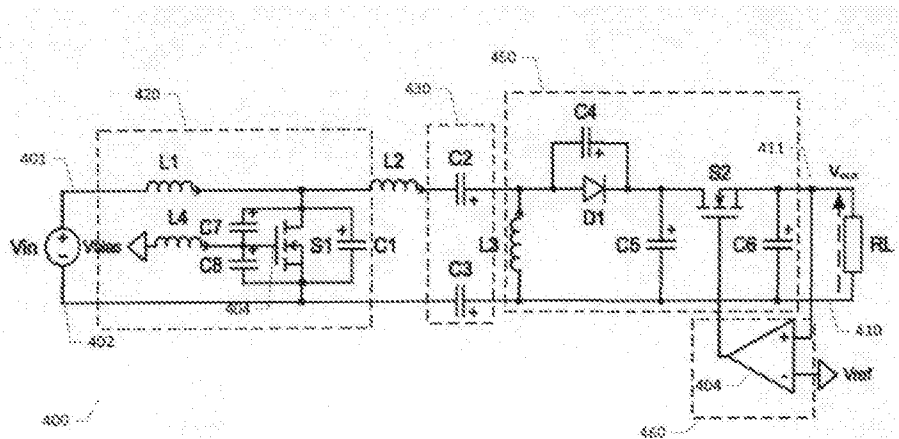
ФІГ. 1 А)



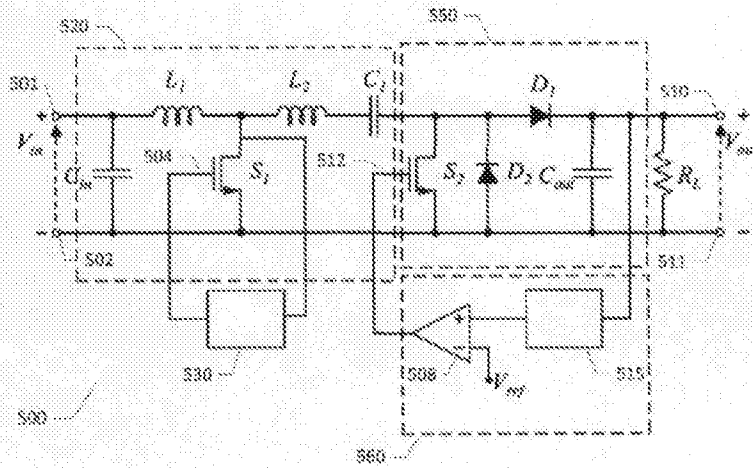
ФІГ. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



ФІГ. 5

Комп'ютерна верстка І. Скворцова

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601